

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-94187

(P2002-94187A)

(43)公開日 平成14年3月29日(2002.3.29)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/323
5/183

識別記号

F I

H 0 1 S 5/323
5/183

テームコード(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2000-286870(P2000-286870)

(22)出願日 平成12年9月18日(2000.9.18)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成12年度通商産業省委託事業「エネルギー使用合理化電子計算機技術開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 北谷 健

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 近藤 正彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外2名)

最終頁に続く

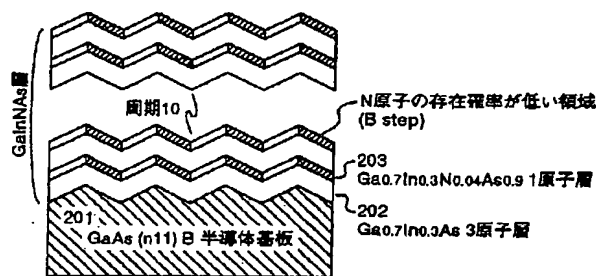
(54)【発明の名称】 半導体レーザ及びそれを用いた光通信システム

(57)【要約】

【課題】製造時の熱アニールによるPLピークエネルギーのシフトが小さい、Nを含むIII-V族化合物半導体層を有する半導体レーザを提供すること。

【解決手段】半導体基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じこめるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を備え、活性層が、窒素を含むIII-V族化合物半導体層を有し、この窒素を含むIII-V族化合物半導体層を構成する窒素原子を、半導体層内において一定の周期性を持って配置した半導体レーザ。

図 2



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じこめるクラッド層と発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を具備し、上記活性層は、窒素を含むIII-V族化合物半導体層を有する半導体レーザにおいて、上記窒素を含むIII-V族化合物半導体層を構成する窒素原子が、III-V族化合物半導体層内において一定の周期性を持って配置されていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】上記窒素を含むIII-V族化合物半導体層は、上記活性層の主発光層に存在することを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。

【請求項3】上記主発光層は、組成の異なる半導体層が交互に積層されて構成され、その内の少なくとも一種の半導体層が上記窒素を含むIII-V族化合物半導体層であることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ。

【請求項4】上記半導体基板は、結晶面が基板の垂直方向に対してB方向に傾斜している傾角基板であることを特徴とする請求項1から3のいずれかーに記載の半導体レーザ。

【請求項5】請求項1から4のいずれかーに記載の半導体レーザ及び受光素子を具備する第1の光モジュール並びに該第1の光モジュールと光ファイバーによって接続された第2の光モジュールとを有することを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信用に適した半導体レーザ及びそれを用いた光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在の光通信には、光ファイバーにおける伝送損失が低い点から、1.3 μ m及び1.55 μ m帯の光が主として利用されており、光源としては、ガリウムインジウム砒素磷(GaInAsP)系の端面発光型半導体レーザが広く実用化されている。GaInAsP系の半導体レーザは、材料物性的に活性層の伝導帯におけるバンドオフセット(ΔE_c)が小さく、高温時には、高いエネルギー状態に分布する電子を十分に活性層内に閉じ込めることができなくなる。そのため、この半導体レーザを高温下で動作させると、しきい値電流やスロープ効率といったレーザ特性が大幅に劣下するということが問題になっていた。しきい値電流の温度特性の良し悪しを示す指標として、一般的に特性温度(T_0)という値が用いられているが、GaInAsP系の半導体レーザにおける T_0 の典型値は60~70K程度であり、電子を理想的に閉じ込めた場合の理想値150K以上に対して、大幅に低い値に留まっている。

【0003】これに対し、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アブライド・フィジックス1996年第35巻1

273頁(Jan.J.Appl.Phys.Vol.35(1996)pp.1273)誌上に、半導体レーザの活性層に、窒素(N)を含むIII-V族化合物半導体材料の一種である新材料ガリウムインジウム窒素砒素(GaInNAs)を用いることで、350meV以上の非常に大きな ΔE_c が得られ、150K以上の T_0 が実現可能で、光通信用半導体レーザの高温動作特性を画期的に改善できる可能性があることが示された。また、GaInNAsは、ガリウム砒素(GaAs)基板上に長波長帯の発光層を形成できるという点から、アルミニウム砒素(AlAs)/GaAs系の半導体多層膜反射鏡を一貫した結晶成長により形成でき、長波長帯面発光型半導体レーザの実用化、高性能化に向けても大きな期待を集めている。その後、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アブライド・フィジックス・レターズ 2000年第39巻86頁(Jan.J.Appl.Phys.Vol.36(2000)pp.L86)誌上で本材料を用いた1.3 μ m帯端面発光型半導体レーザにおいて200Kを超える T_0 が実現され、その優れた高温動作特性が実証される等、本材料系の研究が活発化している。なお、本明細書では、端面発光型、面発光型と特に断わらない場合、両方の半導体レーザを示すものとする。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】GaInNAs系等のNを含むIII-V半導体レーザの実用化に向けた最も大きな課題の一つは、結晶性の向上である。GaInNAsは相分離しやすい材料であり、良好な結晶を得るためには、それを抑制できる低温成長と、この低温成長で生じた欠陥回復のための熱アニールが有効であることが明らかになってきている。しかしながら、GaInNAsにおいては、熱アニールによってPL(フォトルミネッセンス)ピークエネルギーが高エネルギー側にシフトする現象が観測されている。ジャーナル・オブ・クリスタル・グロース 2000年第209巻345頁(Journal of Crystal Growth 209 (2000)345)誌上によると、アニール温度に対するPLピークエネルギーの変化割合は、従来のIII-V半導体であるGaInAsと比較して約4倍も大きい。そこで、実際の1.3 μ m帯レーザダイオード(LD)素子の作製においては、熱アニールによる波長シフト分を考慮し、熱アニール前の状態で、60nm程度発光波長が長波長側になるようにGaInNAs層のN組成を設計する必要性が生じている。よって、熱アニール工程で何らかの原因によって波長のシフト量のばらつきが生じると、LD素子の発振波長も同様に1.3 μ m帯からばらつき、LD素子作製の歩留まり低下を引き起こし、ひいては作製コストの上昇をもたらすことが懸念される。本波長シフトの抑制は、端面発光型、面発光型半導体レーザに共通した大きな課題である。

【0005】本発明の第1の目的は、製造時の熱アニールによるPLピークエネルギーのシフトが小さい、Nを

含むIII-V族化合物半導体層を有する半導体レーザを提供することにある。本発明の第2の目的は、そのような半導体レーザを用いた光通信システムを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明の半導体レーザは、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じこめるクラッド層と発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を備え、活性層は、窒素を含むIII-V族化合物半導体層を有し、この窒素を含むIII-V族化合物半導体層を構成する窒素原子が、III-V族化合物半導体層内において一定の周期性を持って配置されているようにしたものである。

【0007】窒素を含むIII-V族化合物半導体層は、GaNA_s、InNA_s、AlNA_s、GaNP、InNP、AlNP、GaNSb、InNSb、AlNSb又はこれらの混晶材料の中から選ばれることが好ましい。

【0008】上記窒素を含むIII-V族化合物半導体層は、活性層の主発光層に存在することが好ましい。また、この主発光層は、組成の異なる半導体層が交互に積層されて構成され、その内の少なくとも一種の半導体層が上記窒素を含むIII-V族化合物半導体層であることが好ましい。この半導体層は、それぞれ1～5原子層の厚さであることが好ましい。

【0009】また、半導体基板としては、結晶面が基板の垂直方向に対してB方向に傾斜している傾角基板を用いることができる。

【0010】また、上記第2の目的を達成するために、本発明の光通信システムは、上記のいずれかに記載の半導体レーザと、受光素子とを具備する第1の光モジュール及びこの第1の光モジュールと光ファイバーによって接続された第2の光モジュールとから構成されるようにしたものである。

【0011】上述の窒素原子がIII-V族化合物半導体層内において一定の周期性を持つとPLピークエネルギーのシフトが小さくなる理由を説明する。熱アニールによるGaInNA_sのPLピークエネルギーの高エネルギー側へのシフトは、GaInNA_s自体のバンドギャップのシフトに起因していることが判明した。このバンドギャップのシフトはGaInNA_s膜中の原子位置（配列）の変化に起因するものであると推測される。その理由について、さらに詳しく述べる。Nを含むIII-V族化合物半導体材料においては、電気陰性度が高く、原子半径の小さいN原子の周りに電子が集まり局在しているので、波動関数が不均一に分布し、疑似的に原子間の相互作用が弱められる効果が働く。それが、本材料系特有の大きなバンドギャップボウイング（混晶半導体におけるバンドギャップの組成依存性の大きなたわみ）の主要因となっているが、そのため、熱アニール時の微小

な原子の位置（配列）の変化によって波動関数の不均一な分布状態が変化し、バンドギャップが大きく変動すると推測される。一方、GaInNA_s等の従来のIII-V族化合物半導体においては、電気陰性度や原子半径における大きな相違が存在せず、波動関数がほぼ均一に分布できる。そのため、原子位置（配列）が変化することによるバンドギャップ変化への影響は小さい。同様のことは、フィジカル・レビュー・レターズ 1998年第57巻57 4425頁(Phys.Rev.Lett. 57,4425(1998))誌上の理論計算でも指摘されている。以上の知見から考察すると、GaInNA_sを始めとするNを含むIII-V族化合物半導体材料において、熱アニールによるPLピークエネルギーの変化を低減するためには、波動関数ができるだけ均一に分布するようにすることが有効であると考えられる。先述のように、波動関数の分布を不均一にさせる原因は、N原子のランダムな位置（配列）にある。そこで、層内のN原子の配置に周期性を導入することで、波動関数の不均一な分布状態を大幅に改善できる。先述の理論計算においても、N原子と砒素（As）原子を交互に配置した場合、波動関数の分布状態の不均一性を改善できることが示されている。その効果により、GaInNA_sを始めとするNを含むIII-V族化合物半導体材料における熱アニール時のバンドギャップの変化を低減できると考えられる。

【0012】

【発明の実施の形態】N原子を周期的に配置する具体的手法の一例を示す。なお、ここではN原子の周期的な配置方法について説明するため、その他の部分は省略している。図1の例では、成長基板としてGaAs（100）基板101を用い、Ga_{0.7}In_{0.3}As 3原子層102とGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層103を交互に配列した。このように、複数の異なる半導体層を数原子層程度の厚さで交互に積層することで、成長方向に、Nが存在する層とNが存在しない層を周期性に配列することが可能である。周期数を10とすれば、合計の膜厚は、およそ10nmとなる。このとき、本膜は擬似的に、Ga_{0.7}In_{0.3}N_{0.01}As_{0.99}と同等の組成を有する。この膜を井戸層に用い、GaAsを障壁層とした量子井戸構造では、熱アニール時の波長シフト量を従来の60nmから30nmまで低減でき、光ファイバー通信に適合する1.3μm帯での発光が実現できた。

【0013】また、別の例を図2に示す。ここでは、基板としてGaAs（n11）B基板201を用いる（nは正の整数）。N原子はこのように傾斜した基板のBステップの位置には吸着しにくいことが、第46回応用物理学関係連講演会講演予稿集48頁29p-T-6誌上に報告されている。よって、先述の図1に示した例と同様に、Ga_{0.7}In_{0.3}As 3原子層202とGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層203を交互に10周期積層した場合、図中に示したように、成長方向に加

えて、それと垂直な方向にもN原子が存在する領域と存在しない領域が形成され、その分布に2次元的な周期性を導入することができる。本発明構造では、GaAs

(311) B基板を用い、熱アニール時の波長シフト量を、従来の60nmから20nmまで低減でき、図1の例よりもさらに大きな効果が得られた。なお、より大きな効果を得るためには、使用する基板のn(正の整数)はできるだけ小さい数が好ましく、10以下であれば十分効果が得られる。

【0014】Nを含むIII-V族化合物半導体材料において、N原子を周期的に配列する方法として、ここでは2例を示したが、その他の手法を用いてN原子を周期的に配列しても、同様の効果を得ることが可能であり、この2例に限定されるものではない。

【0015】(実施例1)ここでは第1の実施例として、複数の異なる半導体層を数原子層程度の厚さで交互に積層するGaInNAs層を発光層に用いた面発光型半導体レーザについて記述する。図3はその断面図である。この素子の作製には、精密な膜厚制御や材料の瞬時の切り替えが必要であること、また、GaInNAsにおけるNの導入には、非平衡状態での成長法が適しているという点で分子線エビタキシー(MBE)法や有機金属化学気相成長(MOCVD)法、化学ビームエビタキシー(CBE)法等が適している。但し、同様の構造が形成できれば、本発明の効果を得ることが可能であるので、上記成長手法のみに限定されるものではない。ここでは成長方法をガスソースMBE(GS-MBE)法とした。GS-MBE法では、III族元素の供給源として、Ga、Inを用い、V族元素の供給源として、Asに関してはAsH₃を用いた。また、n型不純物としてシリコン(Si)、p型不純物として四臭化炭素(CBr₄)を用いた。なお、p型不純物としてベリリウム(Be)等を用いてもよい。NについてはN₂ガスをRFプラズマ励起したNラジカルを使用した。なお、窒素プラズマの励起は、その他にECR(Electron Cyclotron Resonance: 電子サイクロトロン共鳴)プラズマを用いても行うことができる。

【0016】作製する半導体基板はn型GaAs(100)基板302(n型不純物濃度=2×10¹⁸cm⁻³)を用いる。AsH₃供給下のAs雰囲気において、基板を昇温した後、基板上にn型AlAs/GaAs(n型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)による下部半導体多層膜反射鏡303を30周期積層する。その膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにする。その後、1/4波長厚のnドープGaAs層306(n型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)、1/4波長厚のnドープAlAs下部電流狭窄層313(n型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)を成長する。さらに、ノンドープGaAs下部障壁層307を形成する。

【0017】続いて、ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As

3原子層316とノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96}1原子層317を交互に10周期形成する。合計の膜厚は約10nmである。さらに、ノンドープGaAs上部障壁層308を形成する。ここで、ノンドープGaAs下部障壁層307、ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As3原子層316、ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96}1原子層317、ノンドープGaAs上部障壁層308の合計膜厚は1波長厚みとし、ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As3原子層316及びノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96}1原子層317がこれらの中心になるように配置する。

【0018】続いて、1/4波長厚のpドープAlAs上部電流狭窄層312(p型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)、1/4波長厚のpドープGaAs層310(p型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)の順に形成する。最後にAsH₃供給下のAs雰囲気中で、基板温度を600℃に昇温し、1時間の熱アニール工程を施す。上記のように構成したことにより、熱アニール工程での波長シフトを30nm程度に抑制できた。なお、熱アニール工程は、ノンドープGaAs上部障壁層308形成時に基板温度を昇温し、その後の膜形成を継続しても同様の効果が得られる。

【0019】このようにして作製された膜に、SiO₂を蒸着し、ホット工程にて円形状にパターンニングした後、これをマスクにして、下部の多層膜反射鏡303の上部までメサエッチングを行う。ここで、エッチング液としては、HBr:H₂O₂:H₂Oを混合した液を用いる。続いて、形成されたメサ構造に、電流狭窄を行うための選択酸化を施す。nドープAlAs下部電流狭窄層313及びpドープAlAs上部電流狭窄層312は、この工程により、側面部分がAl_xO_y絶縁層314及び315に変化する。その後、SiO₂保護層304、ポリイミド305の順に形成する。この後、ポリイミドを、反応性イオンエッチング法により、p型GaAs310上部のSiO₂が露出するまでエッチングして平坦化する。

【0020】続いて、p型GaAs310上部のSiO₂マスクを除去して、リング状p側電極309、n側裏面電極301を形成する。最後にSiO₂/TiO₂からなる、上部誘電体多層膜反射鏡311を形成し、電極上の余分な部分は、ホット工程を経てドライエッチング法にて除去して、素子として完成する。ここで、SiO₂/TiO₂の膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにする。このようにして作製された素子は、電流が流れるnドープAlAs下部電流狭窄層313及びpドープAlAs上部電流狭窄層312の未酸化の領域が直径約5μmの場合に、閾値電流が0.1mAで室温において連続発振した。本発明の効果により、1枚のウェハー上に作製されたほとんどの素子が1.3μm帯において発振し、良好な歩留まりで半導体レーザを得るこ

とができた。

【0021】本素子の波長は、光ファイバー通信で用いられる波長帯と一致しており、本実施例の素子を光ファイバ通信システムの光源として用いた。図5にその一例を示す。光モジュール505は、半導体レーザ501と半導体レーザの駆動回路502及び受光素子503と受光素子の駆動回路504から構成される。光モジュール505は、制御回路506によって動作を制御される。各光モジュールは、別の光モジュールと光ファイバー507で接続され、光通信を行う。本実施例記載の素子をこの半導体レーザ501として用いた。

【0022】(実施例2)第2の実施例として、基板にGaAs(n11)B基板を用いた端面発光型半導体レーザの例を示す(nは正の整数)。図4はその断面図である。本素子の作製にはMOCVD法を用いる。ここで、III族元素であるガリウム(Ga)、インジウム(In)の供給源として、それぞれ有機金属のトリエチルガリウム(TEG)、トリメチルインジウム(TM I)を用い、V族元素である砒素(As)の供給源として、AsH₃を用いた。また、n型不純物としてシラン(SiH₄)、p型不純物としてジエチルジンク(DE Zn)を用いた。Nの供給源としては、ジメチルヒドラジン(DMH₂)を使用した。

【0023】作製する半導体基板はn型GaAs(311)B基板(n型不純物濃度=1×10¹⁸cm⁻³)402を用いる。AsH₃供給下のAs雰囲気において基板を昇温し、最初に、厚さ1.5μmのnドープGaAsによる下部クラッド層(n型不純物濃度=3×10¹⁸cm⁻³)403を形成する。続いて、活性層を形成する。まず、厚さ10nmのノンドープ下部Ga_{0.9}In_{0.1}As光ガイド層404を形成する。続いて、ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As 3原子層405とノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層406を交互に10周期形成する。合計の膜厚は約10nmである。さらに、厚さ10nmのノンドープGa_{0.9}In_{0.1}As上部光ガイド層407を成長し、量子井戸活性層を形成した。続いて、p型GaAs上部クラッド層(p型不純物濃度=7×10¹⁷cm⁻³)410の一部を形成した。その後、ウエハを大気中に取り出し、ストライプ状のSiO₂マスク(幅約5μm)により活性層下部までメサエッチングを行い、リッジ型の構造を形成した。

【0024】SiO₂マスクを除去した後、再度MOCVD装置内に導入し、pドープGaAs埋め込み層1(p型不純物濃度=7×10¹⁷cm⁻³)408、nドープGaAs埋め込み層2(p型不純物濃度=7×10¹⁷cm⁻³)409、pドープGaAs上部クラッド埋め込み層3(p型不純物濃度=7×10¹⁷cm⁻³)410の残り部分を形成した。なお、本実施例における熱アニール工程は、埋め込み層形成時の基板温度を700℃にて行うことで、同時に施している。これによって熱アニール時の波長シフトを、20nm程度に抑制することができた。最後に、pドープGaAsコンタクト層(p型不純物濃度=5×10¹⁹cm⁻³)411の順に成長した。

【0025】このウエハをMOCVD装置から取り出した後、p型電極412を形成した。基板研磨工程後、裏面にn型裏面電極401を形成し、さらに劈開工程を経た後、素子長600μmの埋め込み型レーザ素子を得た。続いて、素子後面に反射率95%の高反射膜を形成した。このような作製工程を経て試作した素子は、閾値電流値6mAで室温連続発振した。本発明の効果により、1枚のウエハ上に作製されたほとんどの素子が1.3μm帯において発振した。

【0026】本素子の波長は、光ファイバー通信で用いられる波長帯と一致しており、本実施例の素子を、実施例1と同様に図5の半導体レーザ501として使用し、光通信システムの光源として用いた。

【0027】

【発明の効果】本発明によれば、GaInNAs等のII I-V族化合物半導体材料を用いる半導体レーザにおいて、熱アニール工程による発振波長のばらつきが小さく、素子作製の歩留まりが高い、低コストな半導体レーザを提供することが可能になった。また、この半導体レーザを用いた光通信システムを提供することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のGaInNAs層形成の第一の例を示す図。

【図2】本発明のGaInNAs層形成の第二の例を示す図。

【図3】本発明の第1の実施例の面発光型半導体レーザの断面構造図。

【図4】本発明の第2の実施例の端面発光型半導体レーザの断面構造図。

【図5】本発明の光通信システムの一例を示す模式図。

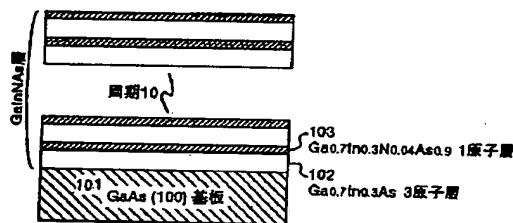
【符号の説明】

101…GaAs(100)基板
102…Ga_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
103…Ga_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層
201…GaAs(n11)B基板
202…Ga_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
203…Ga_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層
301…n型裏面電極
302…n型GaAs(100)基板
303…下部半導体多層膜反射鏡
304…SiO₂保護層
305…ポリイミド
306…nドープGaAs層
307…ノンドープGaAs下部障壁層
308…ノンドープGaAs上部障壁層
309…リング状p側電極
310…pドープGaAs層

- 311…上部誘電体多層膜反射鏡
 312…pドープAlAs上部電流狭窄層
 313…nドープAlAs下部電流狭窄層
 314…Al_xO_y絶縁層
 315…Al_xO_y絶縁層
 316…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
 317…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1
 原子層
 401…n型裏面電極
 402…n型GaAs (311) B基板
 403…下部クラッド層
 404…ノンドープ下部Ga_{0.9}In_{0.1}As光ガイド層
 405…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
 406…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1

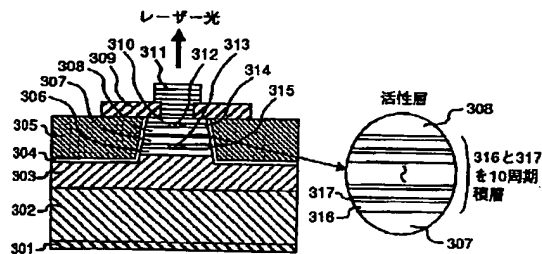
【図1】

図 1



【図3】

図 3



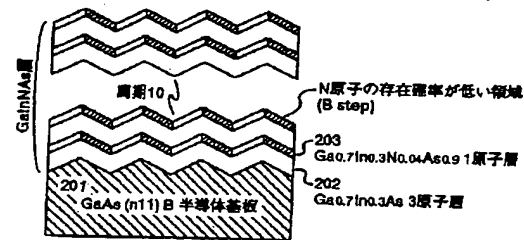
- 301…n型裏面電極 302…n型GaAs (100) 基板
 303…下部半導体多層膜反射鏡 304…SiO₂ 保護層
 305…ポリイミド 306…nドープGaAs層
 307…ノンドープGaAs下部障壁層
 308…ノンドープGaAs上部障壁層
 309…リング状p側電極 310…pドープGaAs層
 311…上部誘電体多層膜反射鏡
 312…pドープAlAs上部電流狭窄層
 313…nドープAlAs下部電流狭窄層
 314、315…Al_xO_y絶縁層
 316…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
 317…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層

原子層

- 407…ノンドープGa_{0.9}In_{0.1}As上部光ガイド層
 408…pドープGaAs埋め込み層1
 409…nドープGaAs埋め込み層2
 410…pドープGaAs上部クラッド埋め込み層3
 411…pドープGaAsコンタクト層
 412…p型電極
 501…半導体レーザ
 502、504…駆動回路
 503…受光素子
 505…光モジュール
 506…制御回路
 507…光ファイバー

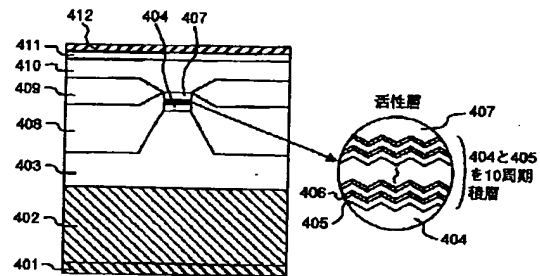
【図2】

図 2



【図4】

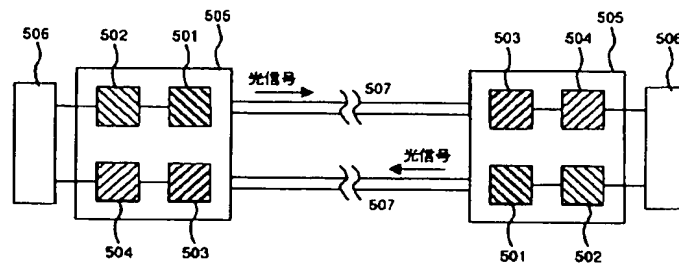
図 4



- 401…n型裏面電極 402…n型GaAs (311) B基板
 403…下部クラッド層
 404…ノンドープ下部Ga_{0.9}In_{0.1}As光ガイド層
 405…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}As 3原子層
 406…ノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96} 1原子層
 407…ノンドープGa_{0.9}In_{0.1}As上部光ガイド層
 408…pドープGaAs埋め込み層1
 409…nドープGaAs埋め込み層2
 410…pドープGaAs上部クラッド埋め込み層3
 411…pドープGaAsコンタクト層 412…p型電極

【図 5】

図 5



501…半導体レーザー 502、504…駆動回路 503…受光素子 505…光モジュール
506…制御回路 507…光ファイバー

フロントページの続き

(72)発明者 田中 俊明
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 5F073 AA22 AA45 AA65 AB17 BA01
CA07 CB02 DA25 EA29

THIS PAGE BLANK (USPTO)